



## 放射線で加工したプラスチックが 学校教材に

長澤 尚胤, 田口 光正

Nagasawa Naotsugu Taguchi Mitsumasa

### 1. はじめに

これまで中学校及び高等学校で用いられてきた放射線に関する教育教材は、霧箱やシンチレーション検出器、GM 計数管などの放射線を計測することを目的としているものがほとんどでした。しかし、我々の社会では、電線ケーブルの被覆材、熱収縮チューブ、自動車のラジアルタイヤや創傷被覆材の製造、医療用器具の滅菌などの様々な産業で放射線を使った加工及び改質技術などが利用され、身近な暮らしに役立っています。放射線加工を少しでも理解してもらうために、学校の理科教育の場でも放射線的作用を見て理解できる、更に体験できる新しい実験教材が求められていました<sup>1)</sup>。

このたび、放射線橋かけ（架橋）技術を活用

し、生分解性プラスチックであるポリ（ε-カプロラクトン）（PCL）に形状記憶性を持たせた学校用実験教材を（株）サンルックスと共同開発しましたので、紹介いたします。

### 2. 放射線橋かけ技術

γ線や電子線などの放射線を照射して電離・励起作用により高分子材料に化学的に活性な部分（活性点あるいはラジカル）が生じます。この活性点を起点として引き起こされる化学反応には、図1に示すような橋かけ反応や分解反応、更にモノマーを添加するグラフト重合があります。これらの反応を用いた高分子加工技術の特徴は、常温常圧、低温処理など幅広い条件で行うことができることと、金属触媒などの化

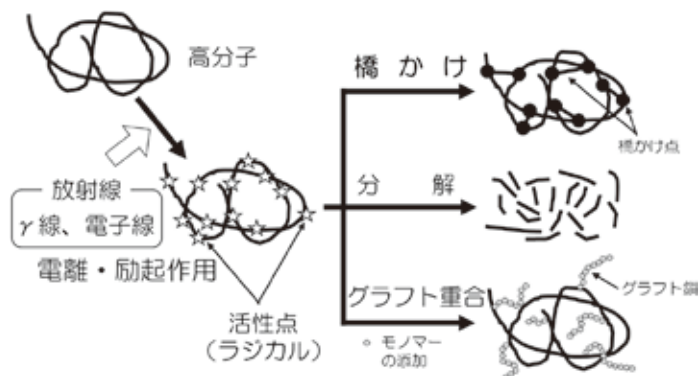


図1 高分子の放射線化学反応

学薬品が不要であるため、有害物質の残存がないことです。この高分子加工の中で最もよく使われている技術は橋かけ反応です。この橋かけ反応は、放射線照射により生成した高分子の活性点同士が再結合することであり、最終的に三次元の網目構造を形成することです。

この橋かけ技術を利用することで、耐熱性や機械的強度の向上、溶媒に対する不溶化などの特長が得られるので、前記に示した電線ケーブルの被覆材、熱収縮チューブや自動車のラジアルタイヤの製造、創傷被覆材などに応用されています。

### 3. 生分解性高分子の放射線橋かけ技術

筆者らのグループでは、放射線橋かけ技術を活用して生体適合性や生分解性を有する高分子材料を原料とした人や環境にやさしい医用高分子材料の開発を行ってきました。

生分解性高分子（プラスチックも含む）は、天然系、石油合成系、微生物産生系の主に3種類に分類されます<sup>2)</sup>。生分解性高分子の全てが橋かけするわけではなく、例えば、天然系に分類されるセルロース、デンプンやキチン・キトサンといった多糖類は、従来、放射線照射によって分解する材料とされてきました。しかしながら、筆者らは、前記の放射線分解型高分子材料で水になじむようなカルボキシメチルセルロースやヒドロキシプロピルセルロース、カルボキシメチルデンプン、カルボキシメチルキチンキトサンなどの多糖類誘導体を原料として、水と均一に混合した高濃度ペースト状態（10%濃度以上）に調製することにより、高分子鎖上の活性な部分が近接して存在し、自由に移動できる環境で電子線や $\gamma$ 線を照射すると、橋かけ反応が起こり、ゲルを形成することを見出しました<sup>3,4)</sup>。得られたゲルは、ゴムのような弾性を呈するだけでなく、乾燥後、水に浸漬すると、乾燥体積の50倍以上吸水します。

化学合成系の生分解性プラスチックであるPCL、ポリブチレンサクシネートやポリブチレ

ンサクシネート・アジペート共重合体に $\gamma$ 線や電子線を照射して橋かけ構造を導入し、耐熱性や加工性を改善してきました<sup>5,6)</sup>。

本教材で使用したPCLは土壌中の微生物で水と二酸化炭素に分解します。このPCLは、融ける（融解）温度が約60℃と非常に低いため、ゴミ袋や弁当箱などに利用されている汎用プラスチックの代替材料としては使用できません。筆者らはPCLの放射線橋かけ技術を開発し、100℃以上の恒温槽内でも融解しないように改善できるとともに、橋かけしたPCLは、橋かけしていないPCLと同様に土壌中で生分解することも見出しました<sup>5)</sup>。この橋かけしたPCLシートの耐熱性を評価する際に、150℃に制御した恒温槽で分銅を使って伸ばした後、分銅を外すと元の長さにまで戻る様子を観測し、放射線照射によりPCLが形状記憶性を有することを確認しました。

### 4. 学校教材“生分解放射線実験樹脂”

放射線で橋かけしたPCLの形状記憶性は、恒温槽だけでなく、融ける温度（60℃）以上の温水を使用しても、同じ性能を観察できました。簡単に温水を用意できることから、この原理を利用した教材の原型となるシートを自分たちで作製し、放射線橋かけ技術を理解してもらえるような展示会や見学者対応などに利用してきました。今回、高度なプラスチック加工技術を有する企業と共同で教材を開発しました。

この教材は、写真1(a)、(b)に示すように放射線橋かけを施したもの（赤線があるもの10本）と施さないもの（20本）の2種類があります。放射線橋かけを施していない樹脂は、60℃程度の温水中で融けます（写真1(c)）が、放射線橋かけした樹脂は、温水中で融けずに引張って伸ばすことができ、室温では固まります（写真1(d)）。再び温水に浸けることで元の形状に戻ります。このような樹脂の溶ける様子と伸びて元に戻る様子を観察することにより、放

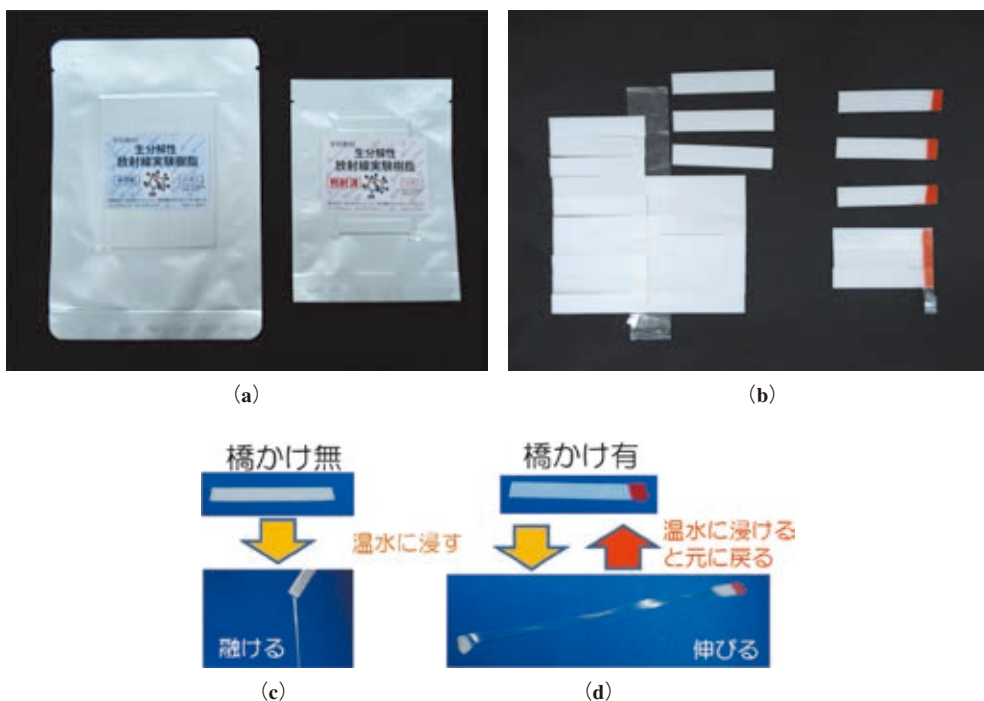


写真1 学校教材“生分解性放射線実験樹脂”

(a) 生分解性放射線実験樹脂のパッケージ，(b) 橋かけしていないPCLシート（左），橋かけしたPCLシート（右），(c) 温水中に浸漬すると，橋かけしていないPCLシートは溶ける，(d) 温水中に浸漬すると，橋かけしたPCLシートは溶けなくて，伸ばすことが可能，伸ばしたPCLシートを再び温水中に浸けると元の形状に戻る

射線の作用の1つである“橋かけ反応”による効果を安全かつ簡単に体験，理解することができます。

本教材により，放射線橋かけ技術を利用して実用化されたプラスチック材料の使用例として電線のつなぎ目やベヤリングなどをカバーできる熱収縮チューブの原理を説明することができます。図2(a)に示すようにプラスチックチューブに，放射線を照射して橋かけ構造を導入します。橋かけしたチューブは，橋かけしていないプラスチックが融ける温度以上でも融けなくなるので，図2(b)のように加熱・膨張・冷却することで，熱収縮チューブを作製できます。図2(c)のようにドライヤーからの熱風を利用して再加熱すると，元の形状に戻ろうと収縮します。この橋かけ作用が形状記憶性をプラスチックに付与することで熱収縮チューブへの応用

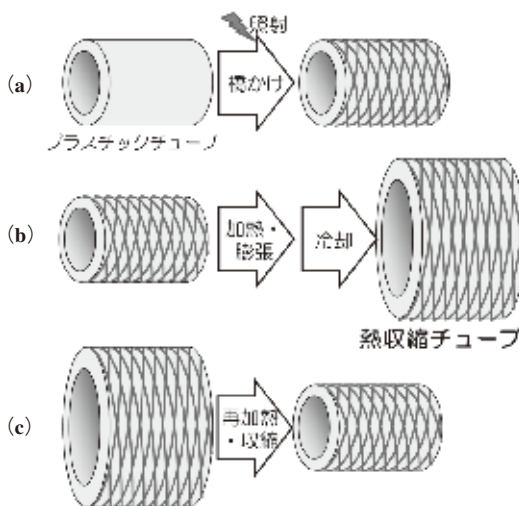


図2 熱収縮チューブの作製法とその熱収縮原理

(a) プラスチックチューブに放射線を照射して橋かけしたチューブを作製，(b) 橋かけしたチューブを加熱・膨張・冷却処理をして熱収縮チューブを作製，(c) 再加熱すると収縮して元の形状に戻る

が可能になるのです。

### 5. おわりに

今まで、放射線計測に関する学校教材しかありませんでしたが、今回、身近に役立っている高分子の放射線橋かけ技術を理解できる学校教材を共同で開発し実用化することができました。これにより放射線教育の普及に貢献できれば幸いです。実用化に当たり、元 原子力機構吉井文男博士、(株)サンルックス 長谷仁様、来田文夫様、中出義彦様に感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 一般財団法人日本原子力産業協会 放射線教育

支援 2014 年「全中理島根大会」ブース出展,  
<http://www.jaif.or.jp/manpower/portal/>

- 2) 日本バイオプラスチック協会, <http://www.jbpaweb.net/gp/gp.htm>
- 3) Yoshii, F., Zhao, L., Wach, R.A., Nagasawa, N., Mitomo, H., and Kume, T., *Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res. B*, **208**, 320–324 (2003)
- 4) Nagasawa, N., Yagi, T., Kume, T., and Yoshii, F., *Carbohydrate Polymers*, **58**(2), 109–113 (2004)
- 5) Darwis, D., Mitomo, H., Enjoji, T., Yoshii, F., and Makuuchi, K., *Polym. Degrad. Stab.*, **62**(2), 259–265 (1998)
- 6) Suhartini, M., Mitomo, H., Yoshii, F., Nagasawa, N., and Kume, T., *J. Polym. Environ.*, **9**(4), 163–171 (2001)

(日本原子力研究開発機構)